

## CAPÍTULO 7: SISTEMAS DE APOYOS Y JUNTAS

### 7.1 Sistemas de apoyos

La función de los sistemas de apoyos es transferir las fuerzas de la superestructura a la subestructura o de una superestructura a otra, permitiendo los movimientos traslacionales o rotacionales. Los apoyos deben ser capaces de resistir las cargas, absorber los movimientos, satisfacer los requerimientos de fatiga y resistir la acción de los aceites, intemperie ozono atmosférico, radiación ultravioleta y temperaturas extremas.

Los apoyos pueden ser articulado fijo o apoyo fijo ó articulado móvil o apoyo móvil. El comportamiento de los apoyos se debe establecer previamente en el diseño. Sin embargo, este comportamiento previo es ideal y pocas veces se obtiene en la estructura real.

#### 7.1.1 Tipos de apoyos

En la tabla 7.1 extraída de AASHTO (1994) *LRFD Bridge Design Specifications* se definen los tipos de apoyos con sus rangos de aplicación para diferentes cargas y movimientos.

Donde:

S = Aplicable.

U = No aplicable.

L = Aplicable pero con limitaciones.

R = Podría ser aplicable pero requiere consideraciones especiales o elementos adicionales como deslizadores o guías.

Tabla 7.1 Rango de aplicación de apoyos

Tipo de apoyo	Movimiento		Rotación sobre el eje			Resistencia a cargas		
	Long	Trans	Long	Trans	Vert	Long	Trans	Vert
Cojín plano de elastómero	L	L	S	S	L	L	L	L
Cojín reforzado de fibra de vidrio	S	S	S	S	L	L	L	L
Cojín cotton duck	U	U	U	U	U	L	L	S
Elastómero reforzados con acero	S	S	S	S	L	L	L	S
Apoyos planos deslizantes	S	S	U	U	S	R	R	S
Apoyo curvo esférico deslizante	R	R	S	S	S	R	R	S
Apoyo curvo cilíndrico deslizante	R	R	U	S	U	R	R	S
Apoyo de disco	R	R	S	S	L	S	R	S
Apoyo de doble cilindro	R	R	S	S	U	R	R	S
Apoyo confinado en un recipiente	R	R	S	S	L	S	S	S
Balancines	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo con pines de nudillos	U	U	U	S	U	S	R	S
Apoyo de rodillo simple	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo de rodillos múltiples	S	U	U	U	U	U	U	S

### 7.1.1.1 Apoyos de elastómero

Los apoyos de elastómero son los apoyos más simples de puentes. El apoyo consiste en un bloque generalmente rectangular o circular de elastómero. El apoyo trabaja como un material suave de transición entre la superestructura y la subestructura que permite movimientos en todas las direcciones por medio de desplazamientos y/o rotaciones elásticas. Este tipo de apoyo es muy usado en puentes de luces pequeñas.

El inconveniente de este tipo de apoyo es que tiende a abultarse originando desplazamientos y giros verticales excesivos. Sin embargo, reforzando en capas el elastómero con delgadas placas de acero, fibra de vidrio o algodón se disminuye este efecto. (ver Fig. 7.1)

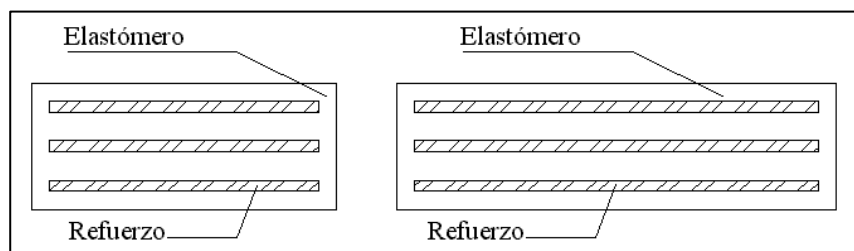


Fig. 7.1 Apoyo de elastómero móvil reforzado.

Para impedir los desplazamientos horizontales es necesario usar elastómeros con resistencia al deslizamiento. Esto se puede lograr colocando placas vulcanizadas arriba y abajo del apoyo, que se pueden conectar a la superestructura y subestructura por medio de pernos o fijadores (ver Fig. 7.2).

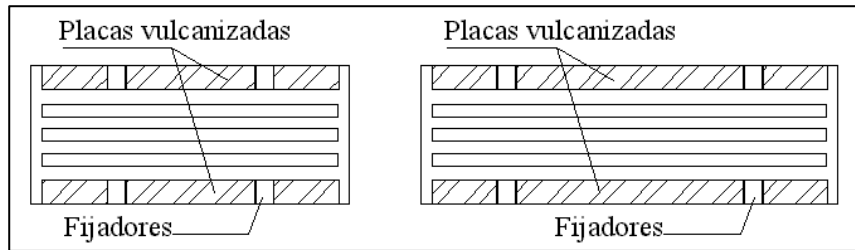


Fig. 7.2 Apoyo de elastómero fijo.

Sin embargo, este tipo de apoyo con placas vulcanizadas sólo puede transmitir pequeñas fuerzas horizontales, por lo que en caso de cargas altas o permanentes se requiere de una construcción de acero adicional para restringir los desplazamientos horizontales y permitir las rotaciones (ver Fig. 7.3 y 7.4).

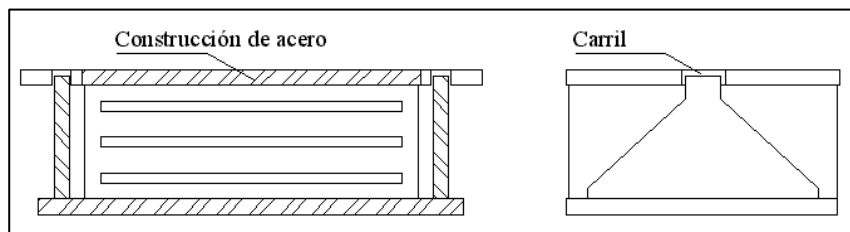


Fig. 7.3 Apoyo de elastómero con construcción de acero fijo en una dirección.

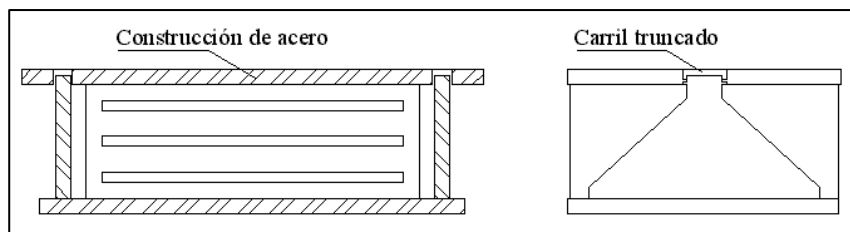


Fig. 7.4 Apoyo de elastómero con construcción de acero fijo en dos direcciones.

### 7.1.1.2 Apoyos de acero

Estos apoyos son los más antiguos. El apoyo puede consistir en dos placas que deslizan entre sí, o en un rodillo o esfera de acero sobre otra superficie plana o curva. Si la superficie es parte de una esfera, teóricamente se obtiene un punto de contacto. Si la superficie es un cilindro se obtiene una línea de contacto (ver fig. 7.5 - 7.7).

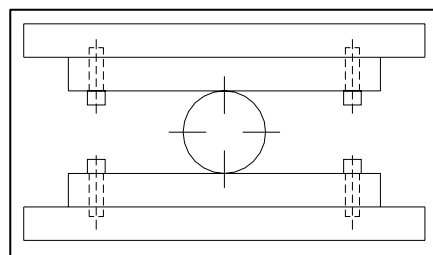


Fig. 7.5 Apoyo de rodillo.

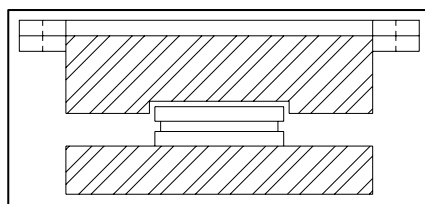


Fig. 7.6 Apoyo basculante curvo esférico fijo.

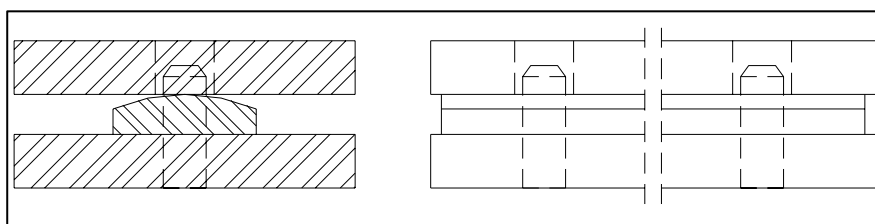


Fig. 7.7 Apoyo basculante con rotación en un eje.

Las superficies planas son usadas para permitir desplazamientos horizontales (apoyos deslizantes), mientras que los apoyos curvos esféricos y cilíndricos permiten rotaciones multiaxiales o axiales respectivamente.

Los apoyos deslizantes consisten de dos placas planas que pueden ser una bronce contra otra de acero adecuadamente lubricados, sin embargo tiene muchas limitaciones debido al incremento del coeficiente de fricción con el tiempo. Este problema se puede solucionar con el uso de Politetrafluoroetileno (PTFE) o teflón que posee bajos coeficientes de fricción y gran resistencia química. Sin embargo tiene poca resistencia a la compresión y alta expansión térmica por lo que es usado en láminas sin afectar sus propiedades de baja fricción.

Los apoyos curvos esféricos y cilíndricos poseen teóricamente un punto o a línea de contacto respectivamente, esto lleva a suponer un esfuerzo infinito en los apoyos. Este problema fue resuelto por el físico Heinrich Hertz quien descubrió que debido a las deformaciones elásticas el punto de tangencia se convierte en una región circular y la línea de tangencia se convierte en una región rectangular.

Usualmente, los apoyos curvos esféricos son usados para reacciones de 500KN a 2500KN, mientras que los apoyos de rodillos y balancines son más comunes en el rango de 200KN a 20 000KN.

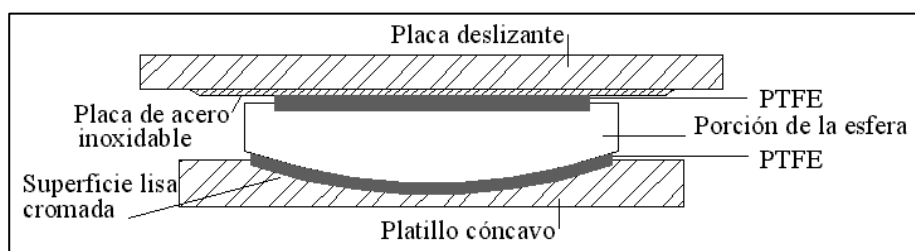


Fig. 7.8 Apoyo curvo esférico deslizante multidireccional.

Además, de los apoyos curvos esféricos que permiten rotaciones también se puede lograr que deslicen. Esto se puede lograr por medio de un platillo de PTFE como se muestra en la fig. 7.8. Esta capa de PTFE tiene que ser lubricada. La parte superior de la superficie cóncava lleva también otro platillo PTFE y la parte de la esfera tiene una superficie lisa cromada inoxidable. También, la placa superior lleva una superficie lisa de acero inoxidable.

Además, se debe tener en cuenta que la fricción resistente de las partes deslizantes causa momentos debido a las rotaciones que deben ser considerados en el diseño de los apoyos.

Para restringir el desplazamiento horizontal en una dirección es necesario una construcción adicional que guíe el desplazamiento en una sola dirección. Esto se puede observar en la fig. 7.9 y 7.10.

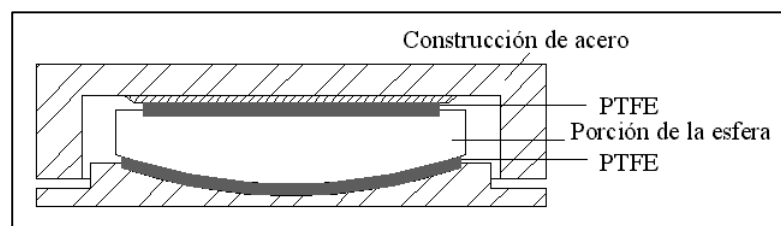


Fig. 7.9 Apoyo curvo esférico deslizante restringido.

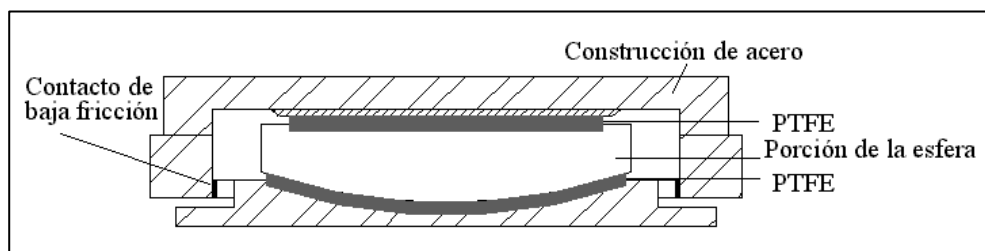


Fig. 7.10 Apoyo curvo esférico deslizante restringido en una sola dirección.

En general los apoyos esféricos son usados para fuerzas verticales de 1000 kN a 100 000 kN. Además, se debe mencionar que existen diversas variantes como usar sólo una superficie PTFE deslizante y muchas se veces se pueden combinar con otro tipo de apoyos para restringir o permitir desplazamientos o giros en los apoyos.

Además, existen otros apoyos como los balancines que consisten en una superficie curva colocada sobre otra superficie plana o curva. En la fig. 7.11 se muestra un esquema de este dispositivo. Ambas partes deben ser restringidas por un pin para evitar los movimientos laterales.

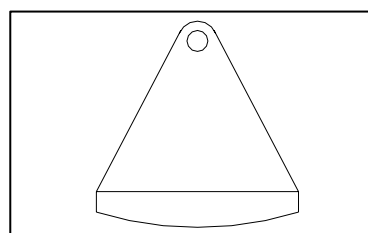


Fig. 7.11 Apoyo tipo balancín.

### 7.1.1.3 Apoyos de elastómeros confinados

Este tipo de apoyos combina las propiedades de facilidad de rotación con la transmisión de las fuerzas sobre un área definida. El apoyo consiste en un recipiente de acero, llenado con un disco de elastómero más un tope o un pistón encima (ver Fig. 7.12).

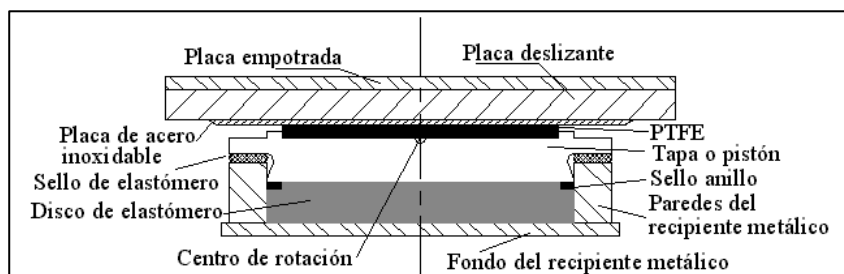


Fig. 7.12 Apoyo de elastómero confinado con deslizamiento multidireccional.

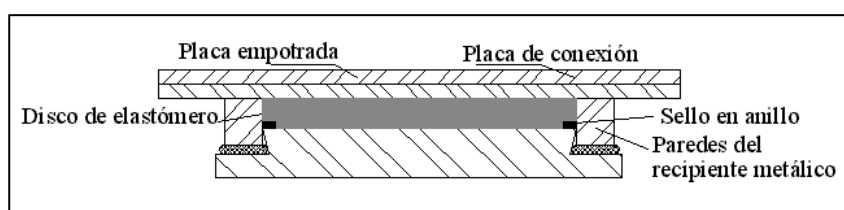


Fig. 7.13 Apoyo de elastómero confinado fijo.

Cuando el apoyo es sujeto a compresiones altas, el elastómero se comporta como un líquido. Las rotaciones son posibles gracias al volumen constante de elastómero. El sello debe trabajar adecuadamente ya que si llega a fallar, el elastómero escapará como un líquido viscoso.

El tipo standard de apoyo sólo permite rotaciones, sin embargo con ayuda de más dispositivos se puede lograr desplazamientos horizontales en dos o en solo una dirección. Esto objetivo se puede lograr con una capa de PTFE, la superficie lisa de acero inoxidable, y la lubricación. La lámina de PTFE tiene un espesor de 5-6 mm donde la mitad del PTFE se encuentra encajada en la parte superior de la tapa o pistón.

El apoyo puede ser libre o fijo como en la fig. 7.12 o 7.13, pero en caso de querer restringir el deslizamiento a una sola dirección es necesario colocar una guía sobre la tapa. Este mecanismo se puede observar en la fig. 7.14.

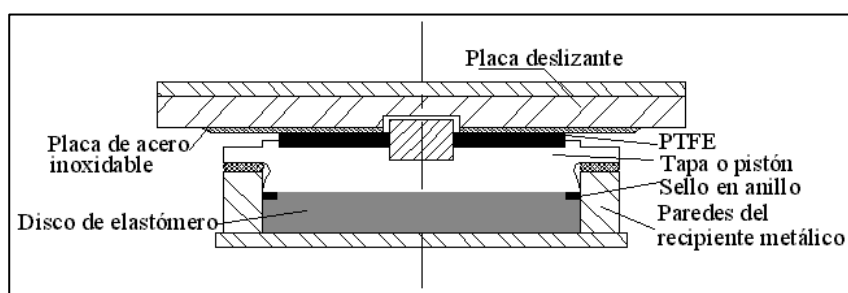


Fig. 7.14 Apoyo de elastómero confinado restringido en una dirección.

En general, estos apoyos de elastómeros confinados son usados para resistir reacciones de 1000 a 100 000kN, donde la compresión entre la tapa y el elastómero no debería exceder  $4.0 \text{ kN/cm}^2$  dependiendo de la calidad del material. Igualmente, la compresión admisible del PTFE es de  $3.0 \text{ kN/cm}^2$  para cargas permanentes y  $4.5 \text{ kN/cm}^2$  para cargas transitorias aproximadamente (Ramberger, Günter. 2002).

#### 7.1.1.4 Apoyos de disco

Este tipo de apoyo consiste en un disco de elastómero confinado con un mecanismo adicional para restringir parcialmente el corte (ver fig. 7.15). La diferencia con los apoyos confinados vistos anteriormente consiste en que los apoyos de disco permiten extensiones transversales elastoméricas del disco.

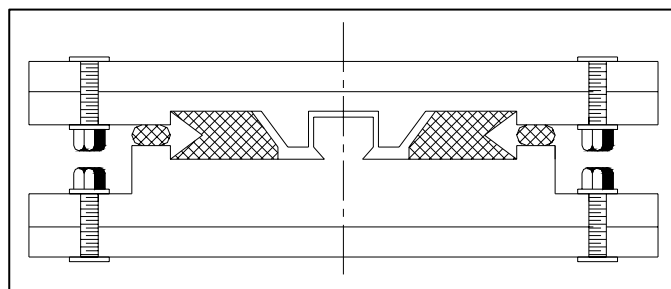


Fig. 7.15 Apoyo de disco fijo.

Su capacidad a compresión es parecida a la de los apoyos de elastómero. También, al igual que los apoyos confinados, las rotaciones alrededor de los ejes horizontales son originadas por deflexiones diferenciales del disco. Sin embargo, se debe tener en cuenta en el diseño que las rotaciones causan un cambio del eje central de cargas.

El modelo básico de este tipo de apoyo es fijo. Donde las fuerzas transversales son transmitidas por la restricción al corte que permite deformaciones y rotaciones verticales. Además de este tipo de disco básico con mecanismos adicionales se pueden lograr apoyos con superficie deslizantes en una o dos direcciones (ver fig. 7.16 y 7.17).

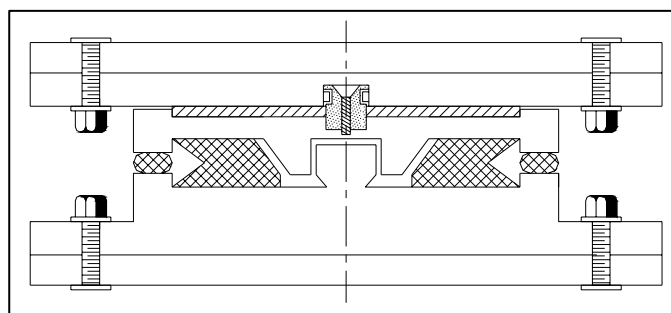


Fig. 7.16 Apoyo de disco con deslizamiento unidireccional.

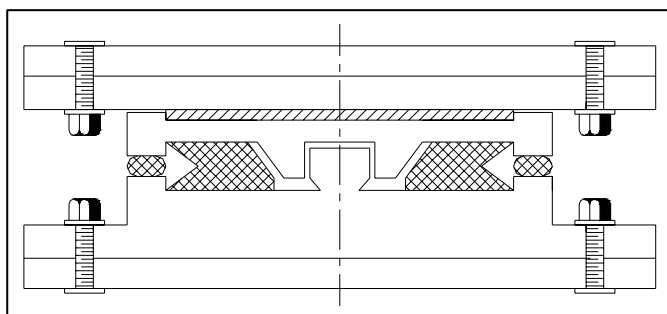


Fig. 7.17 Apoyo de disco con deslizamiento multidireccional.

En la actualidad, existen muchos tipos de apoyos y a su vez cada tipo de apoyo tiene sus respectivas variantes o combinaciones con otros tipos de apoyos para restringir o permitir los distintos grados de libertad.

### 7.1.2 Diseño y análisis de apoyos de elastómero.

A continuación expondremos los principales criterios y recomendaciones de AASHTO. En la fig. 7.18 se observa las diferentes partes del elastómero.

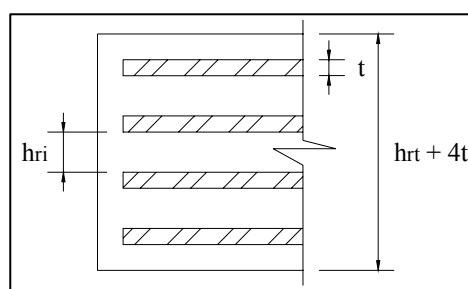


Fig. 7.18 Configuración de elastómero con refuerzo.

AASHTO especifica que los apoyos deben satisfacer los criterios de diseño bajo cargas de servicio sin impacto.

La altura del elastómero,  $h_{ri}$  no debe ser menor que dos veces la máxima deformación cortante,  $\Delta_s$ , para prevenir el levantamiento y la desplastificación de los bordes.

El factor de forma del elastómero podrá ser estimado como:

$$\bullet \quad S_i = \frac{LW}{2h_{ri}(L+W)}$$

Donde:

$h_{ri}$  = Espesor de la capa  $i$ .

$L$  = Longitud de la configuración rectangular.

$W$  = Ancho de la configuración rectangular.

Asimismo, AASHTO también regula los esfuerzos de compresión por medio de las siguientes expresiones:



- $\sigma_s \leq 1.66 \text{ GS}$
- $\sigma_s \leq 11.0 \text{ MPa}$
- $\sigma_L \leq 0.66 \text{ GS}$

Donde:

$\sigma_s$  = Esfuerzo de compresión promedio debido a la carga total (MPa).

$\sigma_L$  = Esfuerzo de compresión promedio debido sólo a la carga viva (MPa).

$G$  = Módulo de corte del elastómero (MPa).

Además, para estimar las deflexiones en los elastómeros se puede hacer uso de los gráficos esfuerzo deformación, que dependen de la dureza del material y del factor de forma. En la fig. 7.19 se muestra las curvas esfuerzo deformación para elastómeros reforzados de dureza 60.

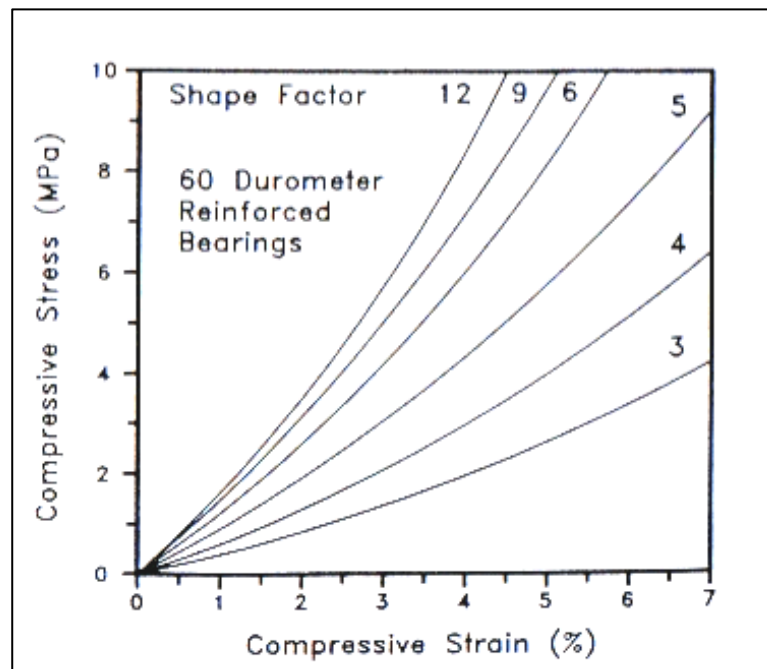


Fig. 7.19 Curva esfuerzo deformación para elastómeros reforzados de dureza 60  
Extraído de “Standard Specifications for Highway Bridges”. AASHTO (1996).

Para apoyos sujetos a compresión y rotación combinada deberán ser diseñados para evitar cualquier levantamiento o esfuerzos de compresión excesivos. El levantamiento para elastómeros rectangulares se puede garantizar si se cumple:

- $\sigma_s > \sigma_{upmin} = 1.0 \text{ GS} \left( \frac{\theta_s}{n} \right) \left( \frac{B}{h_{ri}} \right)^2$

Donde:

$\theta_s$  = Rotación de diseño.

$n$  = Número de capas interiores.

B = Longitud en la dirección de la rotación.

G = Módulo de corte. (Usar el valor máximo para el criterio de levantamiento).

El requerimiento de para evitar esfuerzos excesivos de compresión en apoyos sujetos a deformaciones cortantes se expresa en la siguiente condición:

$$\bullet \quad \sigma_s < \sigma_{Cmax} = 1.875 GS \left[ 1 - 0.20 \left( \frac{\sigma_s}{n} \right) \left( \frac{B}{h_{ri}} \right)^2 \right]$$

Donde:

G = Módulo de corte. Se debe usar el valor mínimo para el criterio de cortante.

Además se debe asegurar la estabilidad de los apoyos bajo la combinación de cargas del estado límite de servicio. Esto se logra limitando el esfuerzo de compresión promedio que para puentes con losa libres de trasladarse horizontalmente es:

$$\bullet \quad \sigma_s \leq \sigma_{cr} = \frac{G}{2A - B}$$

Donde:

$$A = \frac{1.92 \frac{h_{ri}}{L}}{S \sqrt{1 + \frac{2.0L}{W}}}$$

$$B = \frac{2.67}{S(S + 2.0)(1 + \frac{L}{4.0W})}$$

El reforzamiento deberá soportar los esfuerzos de tensión producidos por la compresión en el apoyo. Entonces el espesor de las placas de acero  $h_s$  podrá estimarse por las siguientes expresiones:

Estado límite de servicio:

$$\bullet \quad h_s \geq \frac{3h_{max}\sigma_s}{F_y}$$

Estado límite de fatiga:

$$\bullet \quad h_s \geq \frac{2h_{max}\sigma_L}{\Delta F_{TH}}$$

$h_{max}$  = Máximo valor de los  $h_{ri}$ :

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia del refuerzo, usualmente = 345 MPa.

$\Delta F_{th}$  = Esfuerzo de fatiga, usualmente para superficies lisas sin uniones = 165 MPa.

Para el diseño de otro tipo de apoyos se debe consultar las especificaciones de AASHTO (1996). Standard Specifications for Highway Bridges.

## 7.2 Sistemas de juntas

### 7.2.1 Función de las juntas

La función de las juntas es resistir las cargas externas y proveer seguridad al tránsito sobre la brecha entre el puente y el estribo o entre dos puentes de manera que todo el puente pueda desplazarse sin causar grandes esfuerzos. Al mismo tiempo, las juntas de expansión deben proveer una transición suave entre el puente y las áreas adyacentes.

Para lograr estos objetivos, las juntas de expansión deberán ser robustas y adecuadas para todas las cargas o acciones locales como las condiciones climáticas, humedad o agentes corrosivos. Además, el reemplazo de todas las partes usadas debería ser posible de una manera sencilla.

Los movimientos en las juntas de expansión dependen del tipo de puente y de la configuración de los apoyos. Normalmente, estos movimientos resultan de la temperatura, desplazamientos debidos a cargas externas, creep y shrinkage.

En general, las juntas de expansión deberían cumplir los siguientes requerimientos:

- Capacidad de movimiento.
- Resistencia de cargas estáticas y dinámicas.
- Hermeticidad
- Niveles bajos de ruido.
- Seguridad de tráfico.

### 7.2.2 Recomendaciones para juntas

A continuación presentamos algunas recomendaciones hechas por Günter Ramberger (2002) para satisfacer los requerimientos de juntas.

Es importante conocer que para cumplir con los requisitos de juntas se debe evitar pendientes mayores al 3%, así como diferencias de niveles mayores a 8 mm entre las superficie unidas. Del mismo modo no recomienda juntas mayores a 60mm.

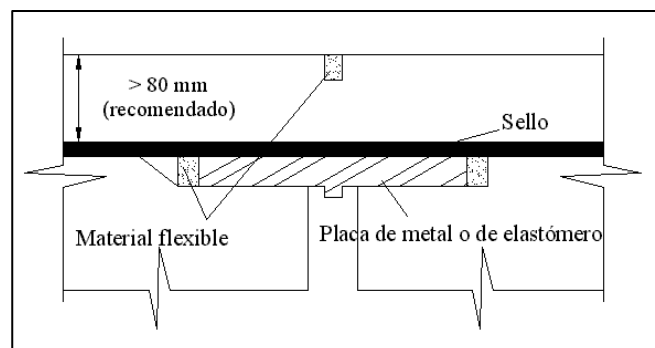


Fig. 7.20 Juntas ocultas.

Para puentes con movimientos pequeños hasta 15 mm es posible construir carpetas asfálticas continuas soportadas sobre placas sobre la brecha (ver Fig. 7.20). En caso de

movimientos mayores a 10mm se recomienda una placa de elastómero en vez de la placa de acero.

Para movimientos mayores hasta 25 mm es posible mediante asfaltos especiales construir juntas asfálticas como se muestra en la fig. 7.21. Sin embargo, este tipo de juntas suelen tener poca duración y generalmente son usadas para construcciones temporales.

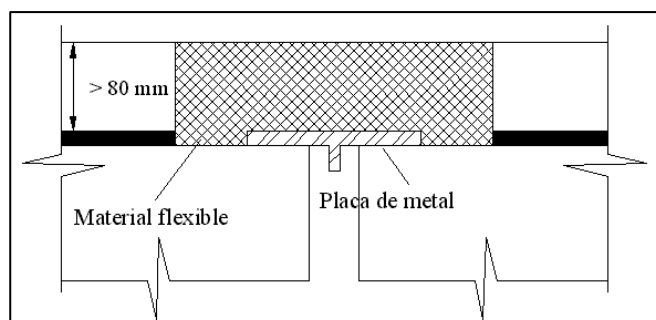


Fig. 7.21 Juntas asfálticas

Para movimientos mayores de 25 a 80 mm se puede lograr juntas por medio de elementos sellantes (ver fig. 7.22). El elemento de sello puede ser reemplazado por un cojinete en caso de requerir absorber deformaciones cortantes.

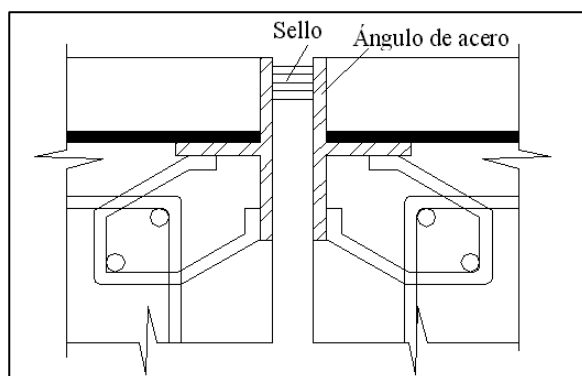


Fig. 7.22 Junta de expansión para movimientos de 25 a 80 mm.

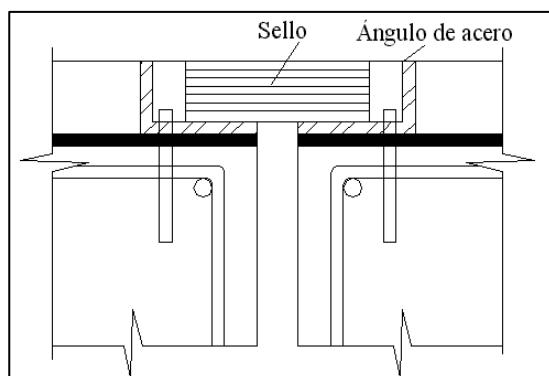


Fig. 7.23 Junta de expansión con cojinete.

De otro lado Jerónimo Herrera (1996), recomienda para juntas de dilatación de 20 mm bordes con ángulos metálicos de 5"x5"x3/16" anclados en el concreto (ver Fig. 7.24).

Adicionalmente recomienda una cinta de Sika PVC a 20 cm de profundidad para evitar el escurrimiento del asfalto.

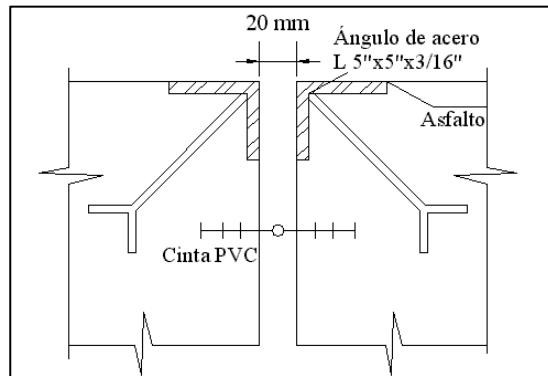


Fig. 7.24 Junta de dilatación con bordes metálicos.

Este tipo de junta tiene la variante de usar platinas metálicas dentadas debidamente ancladas en lugar de los ángulos. En la actualidad, existen muchos tipos de juntas con sus ventajas y desventajas.